

Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica

Richiami di propagazione radiata

La camera anecoica



Antonio Maffucci

D.A.E.I.M.I.
Università degli Studi di Cassino

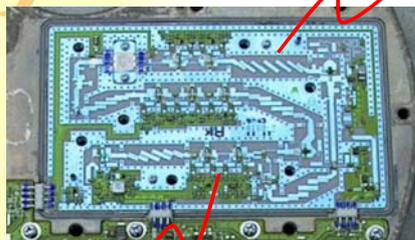
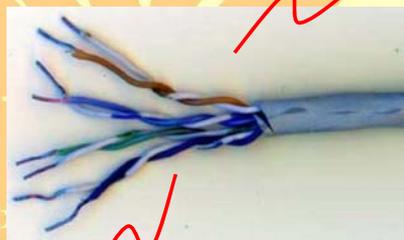
maffucci@unicas.it



A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Emissioni radiate

Obiettivo: Controllo di una sorgente **non intenzionale** di campi elettromagnetici radiati

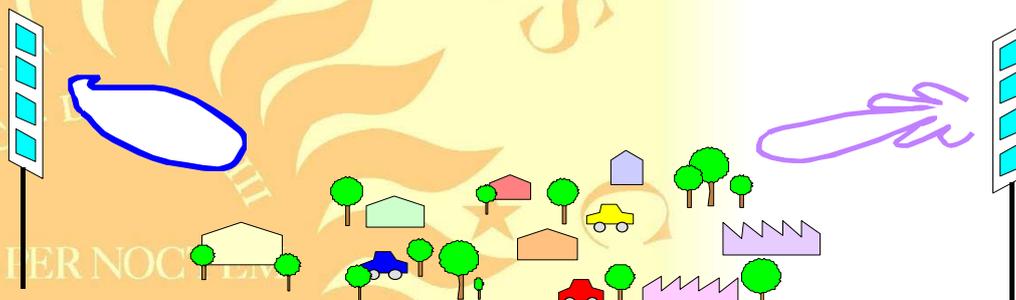


Problema: caratterizzare la sua **capacità** di trasmissione di campi elettromagnetici radiati

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Suscettività radiata

Obiettivo: Controllo del disturbo indotto sugli apparati da sorgenti **intenzionali** di campi elettromagnetici radiati



Problema: caratterizzare le **sorgenti** e l'**accoppiamento** con i circuiti

Richiami sulla propagazione radiata e sulla teoria delle antenne

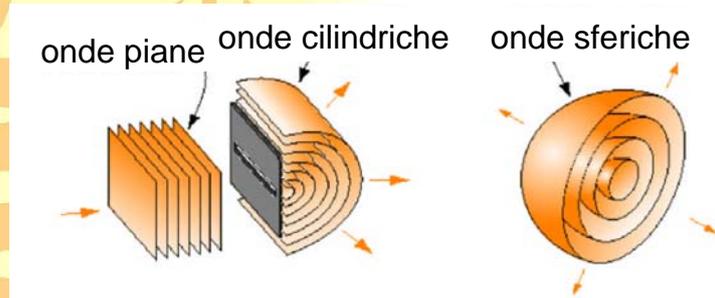
Onde elettromagnetiche

le equazioni di Maxwell complete ammettono soluzioni *viaggianti*

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

↓

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} + \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} &= \mathbf{0} \\ \nabla^2 \mathbf{H} + \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} &= \mathbf{0} \end{aligned}$$



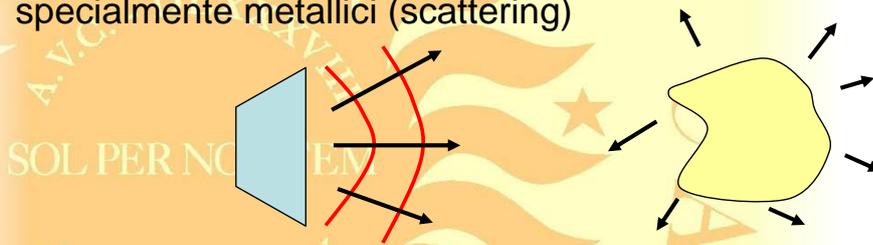
velocità di propagazione: $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$

Propagazione radiata

Alcuni aspetti critici:

il campo si trasmette in linea di principio in tutte le direzioni

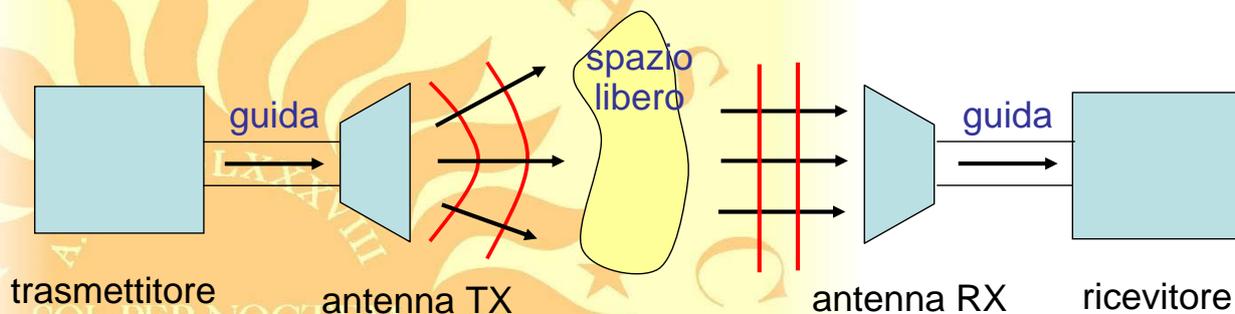
il campo è fortemente influenzato dagli ostacoli, specialmente metallici (scattering)



è molto difficile caratterizzare l'ambiente elettromagnetico

Antenne

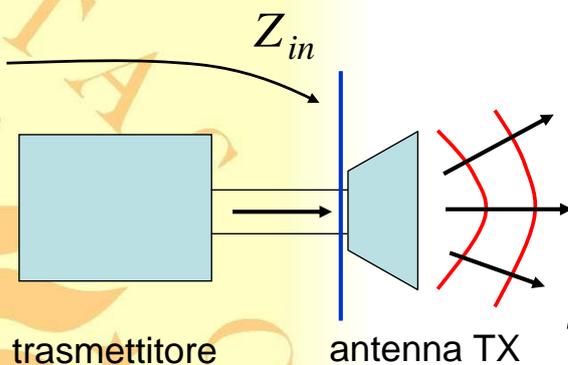
sistemi di transizione tra propagazione libera e propagazione guidata



Antenne: parametri caratteristici

parametri **circuitali**:

- impedenza di ingresso



parametri **spaziali**:

- diagramma di radiazione
- direttività
- area efficace

Antenne: alcuni esempi

array di bipoli (Yagi)



antenna ad elica



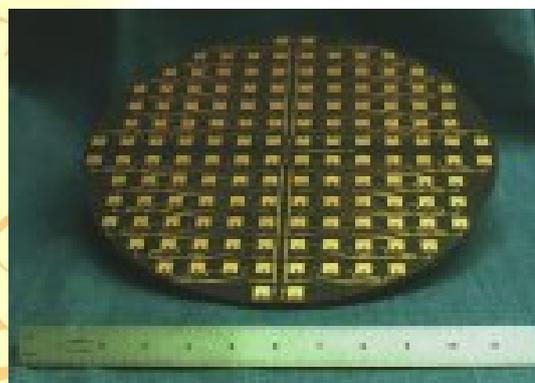
A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Antenne: alcuni esempi

Radio-telescopio (array lineare)



Microstrip Patch Antenna



grande variabilità di dimensioni, frequenze, potenze

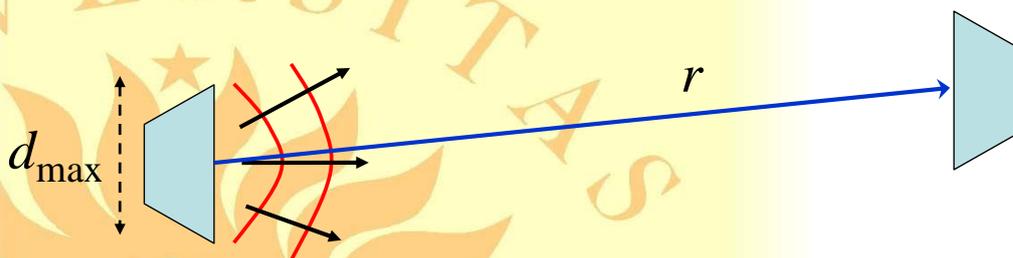
A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Antenne: impedenza di ingresso



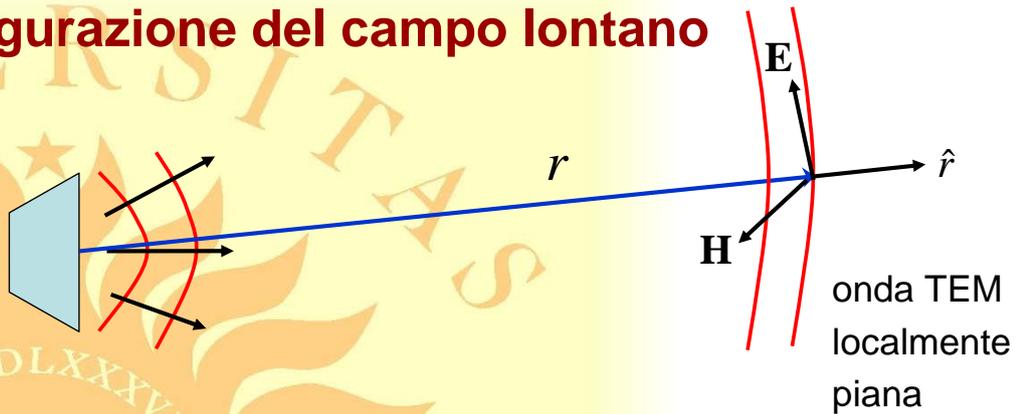
R_{irr} è un indice della capacità di irradiare
 X_{ant} è un indice di disadattamento

Antenne: campo vicino e campo lontano



di solito la più stringente!

Configurazione del campo lontano



fattore comune

dipende dall'antenna

$$\mathbf{E} = \frac{e^{-j\beta r}}{r} \mathbf{e}(\theta, \varphi)$$

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\zeta} \hat{\mathbf{r}} \times \mathbf{E}$$

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon \mu} = \omega / v = 2\pi / \lambda$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Campo lontano e campo vicino

campo lontano

- onda TEM localmente piana
- rapporto tra H e E uguale all'impedenza intrinseca ζ
- la potenza è puramente attiva
- E decade come $1/r$

campo vicino

- simile al caso statico
- onda non TEM
- rapporto tra H e E diverso da ζ
- la potenza presenta una componente reattiva

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Parametri spaziali ed energetici

vettore di Poynting

$$\mathbf{S}(r, \theta, \varphi) = \frac{|\mathbf{e}(\theta, \varphi)|^2}{2\zeta r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

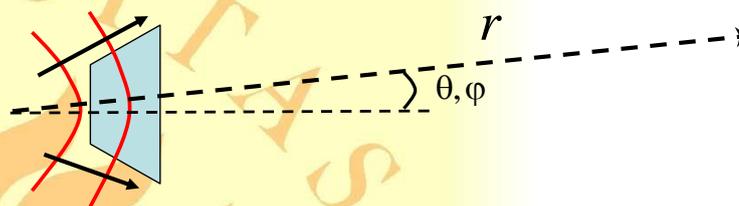
potenza irradiata

$$W = \iint_S \mathbf{S}(r, \theta, \varphi) \cdot \hat{\mathbf{n}} dS$$

intensità di radiazione

$$I_r(\theta, \varphi) = |\mathbf{S}(r, \theta, \varphi)|^2 r^2 = \frac{|\mathbf{e}(\theta, \varphi)|^2}{2\zeta}$$

Potenza irradiata in zona lontana

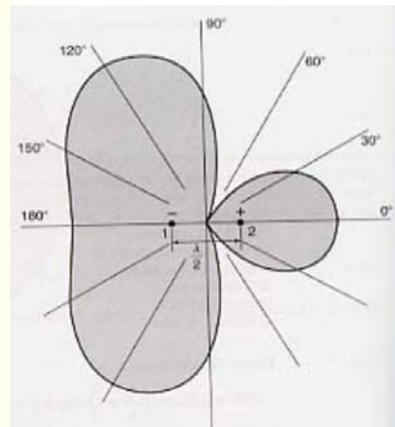
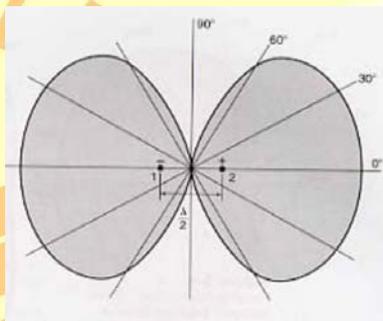
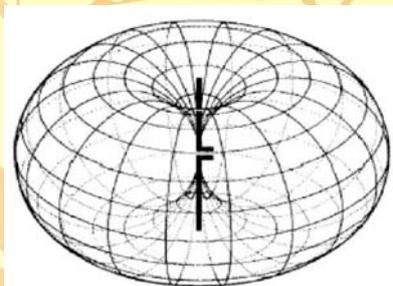


intensità di radiazione

$$I_r(\theta, \varphi) = |\mathbf{S}(r, \theta, \varphi)|^2 r^2 = \frac{|\mathbf{e}(\theta, \varphi)|^2}{2\zeta}$$

è legata all'antenna (in particolare alla distribuzione di corrente)

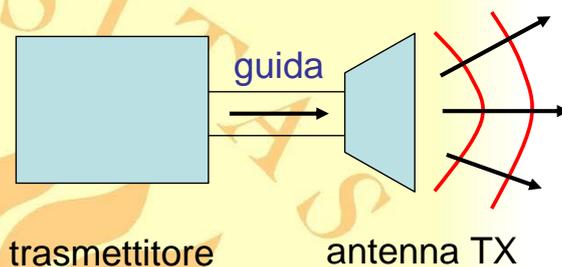
Diagramma di irradiazione



descrive la distribuzione della densità di potenza irradiata nelle varie direzioni

$$I_r(\theta, \varphi) = |\mathbf{S}(r, \theta, \varphi)|^2 r^2 = \frac{|\mathbf{e}(\theta, \varphi)|^2}{2\zeta}$$

Direttività di un'antenna

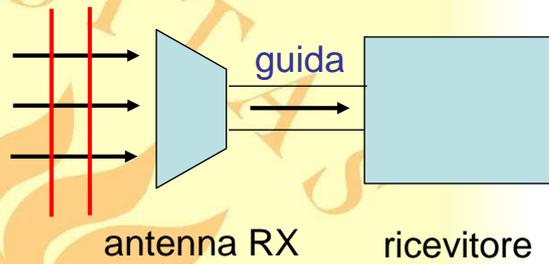


$$d = \frac{P_{ant}}{P_{is}}$$

P_{ant} ← potenza emessa dall'antenna
 P_{is} ← potenza emessa da un'antenna isotropa a parità di I_{max}

ad elevati valori di d corrisponde una capacità di irradiare tutta la potenza in poche direzioni

Area efficace di un'antenna



$$A_{eff} = \frac{P_r}{|\mathbf{S}_r|}$$

P_r → potenza ricevuta dall'antenna
 $|\mathbf{S}_r|$ → Vettore di Poynting in assenza di antenna

ad elevati valori di A_{eff} corrisponde una maggiore capacità di ricevere

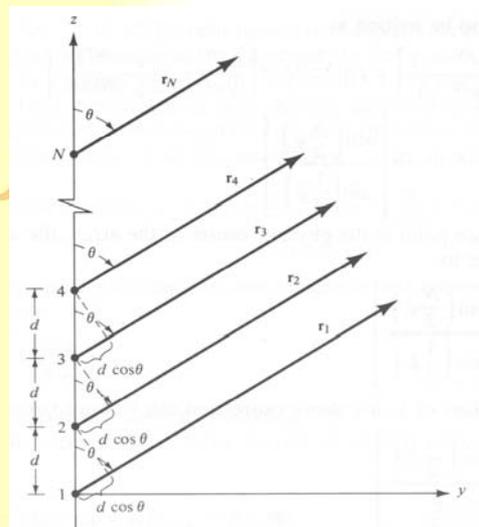
Array di antenne

vengono utilizzati per:

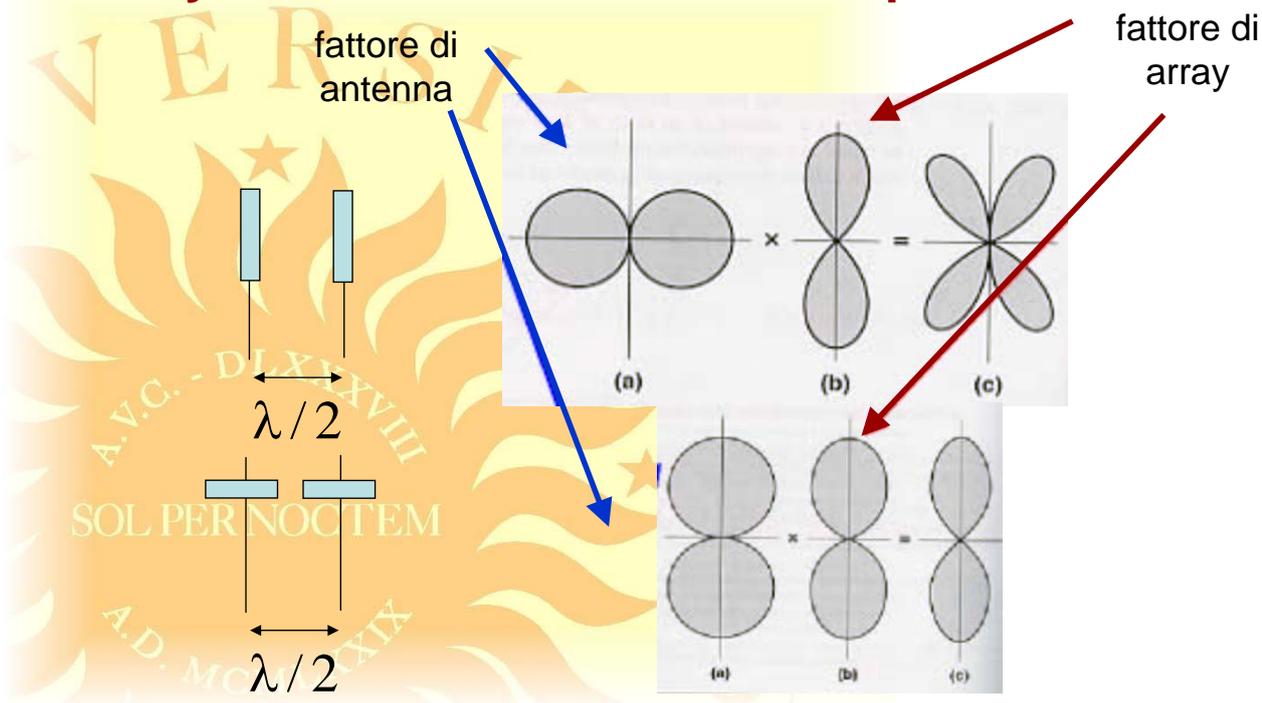
- modificare il diagramma di irradiazione
- allargare la banda

$$\mathbf{E} = \frac{e^{-j\beta r}}{r} \mathbf{e}(\theta, \varphi) A(\theta, \varphi)$$

$\frac{e^{-j\beta r}}{r}$ → fattore di antenna
 $A(\theta, \varphi)$ → fattore di array



Array di antenne: due antenne dipolari

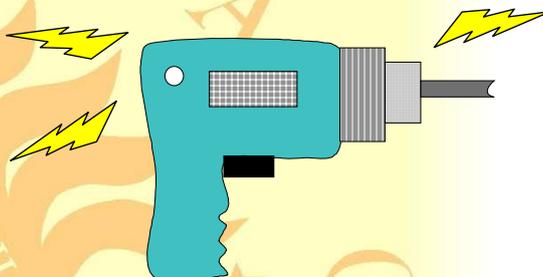


A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Misure di compatibilità sui disturbi radiati: la camera anecoica

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Emissioni e suscettività radiate (30 MHz – 1 GHz)



SOL PER NOCTEM

Emissione radiata: misura del livello dei campi elettromagnetici emessi dall'EUT

Suscettività radiata: misura dell'immunità dell'EUT ad una serie di disturbi radiati

Misura delle emmissioni irradiate e prove di suscettività radiata

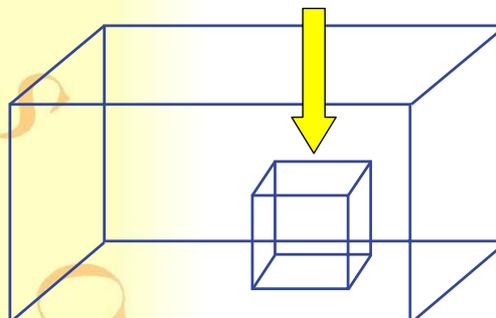
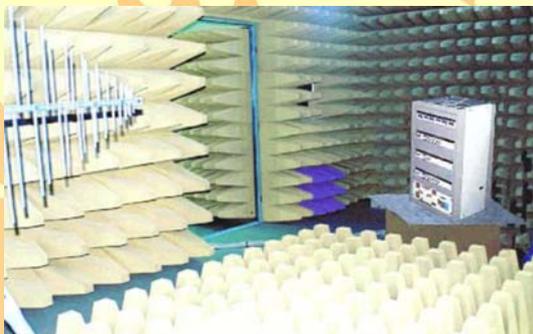
Occorre creare un ambiente di misura controllato:

- campo in zona lontana
- assenza di riflessioni

In questo modo le misure sono riproducibili e possono essere codificate dalla normativa

Camera anecoica

Ambiente in grado di realizzare una zona in cui l'attenuazione dei campi e la loro uniformità sia controllata



SOL PER NOCTEM

Per avere campo lontano è necessaria una distanza antenna-EUT, di almeno 3 metri.

Dimensioni tipiche dell'ordine di 10x6x6 m

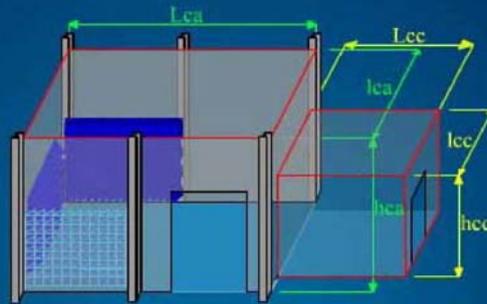
Camera semi-anecoica ed anecoica

- **Semianecoica:** Camera schermata con pareti e soffitto rivestiti di materiale assorbente per le onde elettromagnetiche ed il pavimento conduttore
- **Anecoica:** Come la semianecoica con pavimento assorbente

Assorbimento elettromagnetico:

- **coni assorbenti**, con altezza della piramide proporzionale a λ
- **ferriti** (10 x 10 cm), con buone prestazioni nel range (0.03-1) GHz

Camera semi-anechoica di Cassino



Lca=9060mm
lca=5700mm
hca=6200mm
 Rivestimeto: Pannelli di ferrite 30X30
 Coni in materiale assorbente

Lcc=5000mm
lcc=3150mm
hcc=2900mm
 Rivestimeto: Doppio strato di pannelli metallici

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Camera semi-anechoica di Cassino

In accordo alla Norma EN50147-1

Attenuazione Campo Magnetico

56 dB	10kHz	55 dB richiesti dalla NORMA
101 dB	100kHz	90 dB richiesti dalla NORMA
116 dB	1000kHz	100 dB richiesti dalla NORMA

Attenuazione Campo Elettrico

139 dB	30MHz	130 dB richiesti dalla NORMA
151 dB	200MHz	130 dB richiesti dalla NORMA

Plane Field

149 dB	500MHz	130 dB richiesti dalla NORMA
136 dB	1GHz	130 dB richiesti dalla NORMA
132 dB	10GHz	100 dB richiesti dalla NORMA
100 dB	18GHz	100 dB richiesti dalla NORMA

In accordo alla Norma 61000-4-3

Sia in polarizzazione Orizzontale che Verticale l'uniformità di Campo è conforme alla Norma in 16 punti nel range di frequenza 26MHz - 18 GHz

A. Maffucci, Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica 2005-2006

Antenne per camera anecoica: antenna biconica e log-periodica

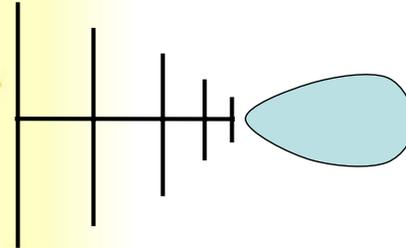


diagramma di irradiazione